

Estructura del macizo ofiolítico de Moa (NE de Cuba) según la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000

Moa ophiolitic massif structure (NE Cuba) based on an interpretation of an aeromagnetic surveying at a scale of 1: 50 000

J.A. BATISTA⁽¹⁾, A. RODRÍGUEZ-INFANTE⁽¹⁾, J. BLANCO-MORENO⁽¹⁾, J.A. PROENZA⁽²⁾

(1) Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las Coloradas, s/n, 83320, Moa, Holguín, Cuba.

E-mail: jabatista@ismm.edu.cu

(2) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona.

Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, España

RESUMEN

La reducción al polo, los gradientes horizontales, los mapas de relieves sombreados y la continuación analítica ascendente (CAA) constituyen transformaciones del campo magnético ampliamente utilizadas durante el estudio de la estructura geológica de una región. En la región de Moa (NE de Cuba) estas transformaciones se emplean para resaltar alineaciones en los datos magnéticos que constituyen estructuras tectónicas disyuntivas o zonas de contactos abruptos, así como la estructura geológica en profundidad.

Con el análisis de estas transformaciones del campo se comprobó que los principales sistemas de fallas de la región de estudio se manifiestan en el comportamiento del campo magnético, particularmente en los mapas de relieve sombreados a partir de zonas alineadas. En estos mismos mapas se repiten alineaciones con dirección noroeste y noreste que no coinciden con las estructuras descritas en los mapas morfotectónico y geológico, destacando zonas que pueden constituir contactos tectónicos o litológicos no citados en trabajos anteriores. Para la mayoría de las estructuras, los mapas analizados sugieren posiciones, longitudes e incluso formas algo distintas a las señaladas en los mapas morfotectónico y geológico.

A partir del modelaje interactivo en los perfiles de interpretación trazados a través de las principales anomalías, se deduce que los cuerpos anómalos poseen formas de cuñas y de capas verticales o ligeramente inclinadas en algunos de sus extremos. Además, yacen a poca profundidad (0-400 m), con la excepción de algunos cuerpos que pueden alcanzar más de 1000 m de profundidad en su límite inferior (perfil III-III' y XII-XII'). Estos resultados corroboran el carácter alóctono de las unidades ofiolíticas en esta región.

Palabras clave: Aeromagnético. Relieves sombreados. Estructura. Ofiolita. Moa. Cuba. Caribe.

ABSTRACT

Several transformations of the magnetic field are suitable for the study of geological structures in a given region: reduction to the pole, horizontal gradient and upward continuation, as well as representation in shaded relief maps. The analysis of these transformations of the magnetic field in the Moa region (NE Cuba) demonstrated that the main fault systems are evidenced by the behavior of the magnetic field, particularly through the use of shaded relief maps. However, in those maps repeated (northwest and northeast) alignments zones occur that do not coincide with the structures reported in the morphotectonic map, highlighting areas where possible tectonic or lithological contacts were not reported in previous works. For most of these structures, the analyses in this paper suggest locations, strike, lengths, and structural shapes that are different to those shown in the currently available morphotectonic and geologic maps. Starting from the interactive modeling in the interpretation profiles traced through the main anomalies, it is shown that the ophiolitic bodies that display anomalous signals have shapes resembling wedges, and vertical layers. These bodies deepen up to 400 m, with the exception of some ophiolitic bodies whose lower limit is placed at more than 1000 m deep. These results corroborate the allochthonous character of the ophiolitic units in the Moa region.

Keywords: Aeromagnetic studies. Shaded-relief maps. Ophiolite. Structure. Moa. Cuba. Caribbean.

EXTENDED ABSTRACT

The Moa ophiolitic massif is located in northeast Cuba (Fig. 1), with the occurrence of important nickeliferous-laterite and chromite deposits. Since the beginning of the 20th Century much work was done to unravel the geology of the area and to offer exploration criteria for these materials, as there was a strong need to increase stocks and to discover new nickeliferous-laterite and chromite deposits.

Although the region was covered by geological surveys at scales varying from 1:250 000 to 1:50 000, and even larger in some areas, the location, extension and limits of the main geological structures are vague. In consequence, exploration and prospection in the area for ore bodies of the above mentioned deposit types can not be done efficiently. Thus, it is necessary using of the existing geophysical information to clarify the present discrepancies on the geological structure of the area.

Several geophysical surveys were focussed on the exploration for chrome resources and, in a lesser extent, nickeliferous laterites. However, those surveys disregarded deep structural and geological features, which may provide valuable prospective zones. This study is mainly devoted to these aspects.

The geology of the study area is dominated by rocks of the Moa-Baracoa ophiolitic massif (Fig. 1). The ophiolite-related rocks are mainly composed by peridotites with tectonite texture, and layered gabbros (Fonseca et al., 1985; Proenza et al., 1998a, 1998b, 1999a, 1999b). Minor volcanic and volcano-sedimentary Cretaceous and Paleogene rocks are also observed. This ensemble was generated in a volcanic island arc. The Cretaceous rocks are represented by the Santo Domingo Formation, and consist of tuffs and tuffites with lavas and interbedded limestones (Proenza and Carralero, 1995; Iturralde-Vinent, 1996c). The Paleogene rocks are represented by the Sabaneta Formation, and consist of tuffs and tuffites (Proenza and Carralero, 1995; Quintas et al., 1995). Younger (terrigenous-carbonate) tertiary formations are observed heading to the coast (Quintas, 1989). The tectonic features in the area are very complex although some important zones with characteristic fault patterns are differentiated, namely Moa, Cayo Guam, Quesigua, Cabaña, Cananova and El Medio (Fig. 2).

The structure of this region was studied through transformations of the magnetic field: reduction to the pole, horizontal gradients, shaded relief map, and upward continuation. Such techniques were applied to aeromagnetic data (Fig. 3), that were measured in the framework of a complex aerogeophysical survey done at a 1:50 000 scale in the easternmost part of Cuba (Chang et al., 1991). This survey was carried out by flying north to south, with a nominal height of 75 m and a precision for magnetic measurements of ± 10 nT.

A reduction to the pole of the ΔT map was done to eliminate or minimize the asymmetry and lateral sliding of anomalies in the total magnetic field, related to the deviations of the magnetization route and the measure component using more specific vertical positions than that of the geometry bodies.

The horizontal gradients and the shaded relief maps are used to underline alignments on magnetic data that may constitute disjunctive structures or abrupt contacts. The upward continuation method is used to underline anomalies produced by deep geological bodies.

The ΔT map reduced to the pole shows intensities ranging from -504 to 666 nT, without accounting for the great anomalies in the furthest northeast point of sector I with 786 nT, and without including anomalies considered to be derived from the antropogenic activity (Chang et al., 1991; Batista, 1998; Batista and Rodríguez-Infante, 2000) (Fig. 3). Negative values in the ΔT map dominate in the western part and occupy a wider area than in the original map, especially in the northwestern part.

The highest values of negative intensities are found in the south-central part of sector I, the northern part of sector II, and the western part of sector V (Fig. 3). In general, the zones that show changes in signs in the field show high gradients and display elongated features in certain directions, possibly indicating the presence of faults. The map displays a higher complexity eastward, and high gradients and anomalies are observed, reaching high intensities (Fig. 3). In the southern part of sector II, the eastern part of sector IV, and the southwestern part of sector V, intensities higher than 400 nT are observed (Fig. 3). This indicates a high magnetization degree, structural and compositional variability, as well as the occurrence of highly serpentinized ultramafic rocks.

The maps of horizontal gradients (Fig. 5 and 6) show high gradient zones, mainly eastward, indicating a greater geological complexity and a higher inclination of the contacts between the magnetic bodies that are the source of the anomalies.

The analyses of horizontal gradients and the shaded relief maps indicated that the main fault systems in the studied region are detected due to the magnetic field behavior shown in the maps (Fig. 4, 5 and 6). Also, in those maps repeated (northwest and northeast) alignments zones occur that do not coincide with the structures reported in the morphotectonic map, highlighting areas that may correspond to tectonic or lithological contacts that were not reported in previous works.

Noteworthy, most of the structures in the analyzed maps display lengths, positions, and shapes that are different in various degrees to those shown in the morphotectonic map. Moreover, these analyses corroborate the occurrence of structures that were either supposed or observed during the elaboration of the morphotectonic map.

The upward continuation maps obtained for levels at 250 and 500 m (Fig. 7a and 7b), as well as the calculated residual using the regional component at a height of 500 m (Fig. 8), are also interpreted in this paper. It is concluded that the southwestern part of the map presents higher intensities of the negative magnetic field (up to -90 nT), indicating the presence of low magnetic sources at higher depth than in the rest of the area. Positive anomalies with intensities up to 60 nT, located in the northwestern part of sector I, in central part of sector II, in the northern and southeastern parts of sector IV, and in the eastern part of sector V, indicate the position of deep magnetic bodies in the area. In these zones the magnetic field decreases slower than in the rest of the area. This characteristic is favorable to the occurrence of deep and large magnetic bodies.

All along each significant anomaly of the residual map, an interpretation profile was traced and interpreted quantitatively with the help of a 2D modeling software 2.5 D Geomodel 1.3 (Cooper, 1991), provided that the magnetic field of the area has an inclination (I) and declination (D) of 90° and 5.25° , respectively, with a magnetization (T_0) of $43\,500$ nT (Fig. 8). By means of this interpretation, it is suggested that the bodies displaying anomalous signals have shapes resembling wedges, and vertical layers or slightly inclined in any of their ends. Besides, the ophiolite bodies occur at shallow depths (0 - 400 m), with the exception of some bodies whose lower contact is found 1000 m deep (profile III-III' and XII-XII'). These results corroborate the allochthonous character of the ophiolitic massif present in the Moa region.

INTRODUCCIÓN

El macizo ofiolítico de Moa se localiza en el noreste de la Isla de Cuba (Fig. 1) y forma parte del denominado

cinturón ofiolítico cubano (Iturralde-Vinent, 1996a). Este macizo contiene importantes depósitos de cromita ofiolítica y de lateritas ferroniquelíferas, los cuales son de referencia a nivel mundial. Desde principio del siglo

XX se han realizado numerosos trabajos dirigidos al aumento del conocimiento geológico de la región y a la exploración de estos recursos minerales.

La zona de estudio está cubierta por cartografías geológicas a escalas que varían desde 1:250 000 hasta 1:50 000 (ej: Albear et al., 1988; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990). Sin embargo, existen importantes discrepancias en cuanto a la extensión y límites de las unidades y estructuras geológicas principales. Estas discrepancias en los diferentes mapas geológicos están condicionadas en gran medida por el desarrollo de potentes cortezas lateríticas sobre las rocas ofiolíticas. En este sentido, la utilización de la información geofísica se convierte en una herramienta muy útil para ayudar a esclarecer las imprecisiones antes expuestas.

Los principales levantamientos geofísicos realizados en la región han estado orientados, fundamentalmente, a la prospección de depósitos de cromita y de lateritas ferroniquelíferas, sin profundizar en las características geológicas regionales (Zamashikov y Tobachkov, 1971; Liuby, 1983; Chang et al., 1991). Por todas estas razones, el presente trabajo tiene como objetivo aumentar el conocimiento geológico-estructural de la región de Moa, a partir de la interpretación de datos aeromagnéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS

Los datos aeromagnéticos utilizados en este trabajo fueron obtenidos durante el levantamiento aerogeofísico complejo realizado a escala 1:50 000 en Cuba oriental (Chang et al., 1991), el cual se realizó a través de líneas de vuelo con dirección norte-sur, con altura nominal de 75 m y una precisión, para el método magnético, de ± 10 nT.

La información geológica empleada incluyó el mapa geológico (Fig. 1; Quintas, 1989) y el morfotectónico (Fig. 2; Rodríguez-Infante, 1998a), los cuales inicialmente se llevaron a formato digital siguiendo la metodología propuesta por Batista (2000).

Para facilitar el procesamiento e interpretación del mapa aeromagnético, éste se dividió en cinco sectores (Fig. 3), sin tener en cuenta las características geológicas y geofísicas. Por otra parte, el mapa de ΔT se reduce al polo (ΔT_p), se le calculan los gradientes horizontales y se confeccionan mapas de relieves sombreados. Posteriormente, se realiza la Continuación Analítica Ascendente (CAA) a dos niveles (250 y 500 m). Por último, se

calculó el residual del campo magnético utilizando la regional obtenida a los 500 m. En el mapa residual se ubicaron varios perfiles de interpretación con el objetivo de valorar la forma, extensión y profundidad de los cuerpos generadores de las anomalías magnéticas.

Los datos fueron reducidos al polo utilizando el software Geosoft (Geosoft Inc, 1992). Los mapas se representaron en forma de relieve sombreado, con diferentes direcciones e inclinaciones de la luz artificial, utilizando el software Surfer 7.0 (Golden Software, Inc., 1999). La interpretación cuantitativa de varios perfiles a través de las principales anomalías se realizó con ayuda del Software de modelación 2.5 D Geomodel 1.3 (Cooper, 1991).

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La región de estudio está constituida, en su mayor parte, por rocas ofiolíticas pertenecientes al macizo Moa-Baracoa (Fig. 1). Este macizo se caracteriza por presentar un amplio desarrollo de los niveles ultramáficos y de gabros, los cuales se han datado como Jurásico-Cretácico Temprano (Iturralde-Vinent, 1996a). Los niveles ultramáficos se componen predominantemente de harzburgitas y, en menor medida, de peridotitas impregnadas (con plagioclasa y clinopiroxeno) y dunitas (Fonseca et al., 1985; Proenza et al., 1998a, 1998b, 1999a, 1999b). Estas peridotitas impregnadas aparecen, sobre todo, en la parte superior de los niveles ultramáficos, y son características de la zona de transición entre los niveles ultramáficos y de gabros (zona de transición manto-corteza). A esta zona también se asocian cuerpos de cromititas, sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Proenza et al., 1999b). Todos estos tipos litológicos muestran un grado variable de serpentinización. En cambio, algunas peridotitas presentan una transformación completa de las asociaciones minerales primarias a minerales del grupo de la serpentina, normalmente asociada a zonas de fallas, dando lugar a típicas serpentinitas.

Los niveles de gabros se corresponden con los típicos gabros bandeados presentes en los complejos ofiolíticos. El contacto entre los niveles de gabros y los de peridotitas es mayoritariamente tectónico, aunque también existen sectores donde el contacto es transicional. Los principales tipos litológicos descritos son gabros olivínicos y gabro-noritas (Proenza et al., 1999c, Rodríguez et al., 2001).

En el área también se observan pequeños afloramientos de rocas volcano-sedimentarias cretácicas y paleogé-

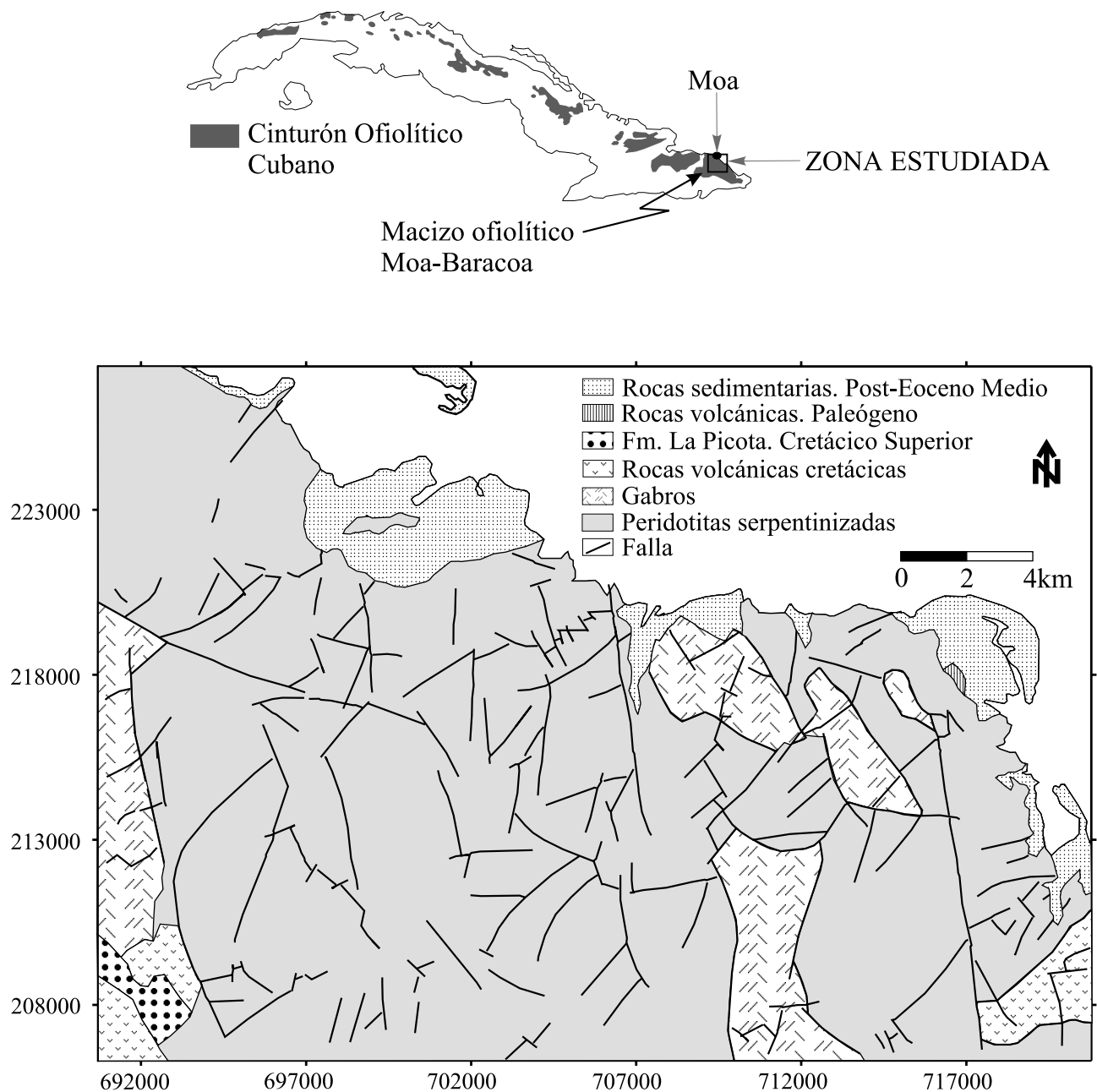


Figura 1. Mapa geológico esquemático del macizo ofiolítico de Moa (modificado de Quintas, 1989).

Figure 1. Geological scheme of Moa ophiolitic massif (adapted from Quintas, 1989).

nicas, relacionadas con contextos de arcos de islas volcánicas. Los materiales cretácicos están representados por la Fm. Santo Domingo, la cual está compuesta por tobas con cuerpos de lavas y calizas intercalados (Iturralde-Vinent, 1996b, 1996c; Proenza y Carralero, 1995). Por otra parte, las rocas volcanosedimentarias pa-

leogénicas corresponden a la Fm. Sabaneta, constituida por tobas y cineritas (Proenza y Carralero, 1995; Quintas et al., 1995).

Hacia el SW de la zona de estudio aflora la denominada Fm. La Picota (Fig. 1), la cual es representativa de

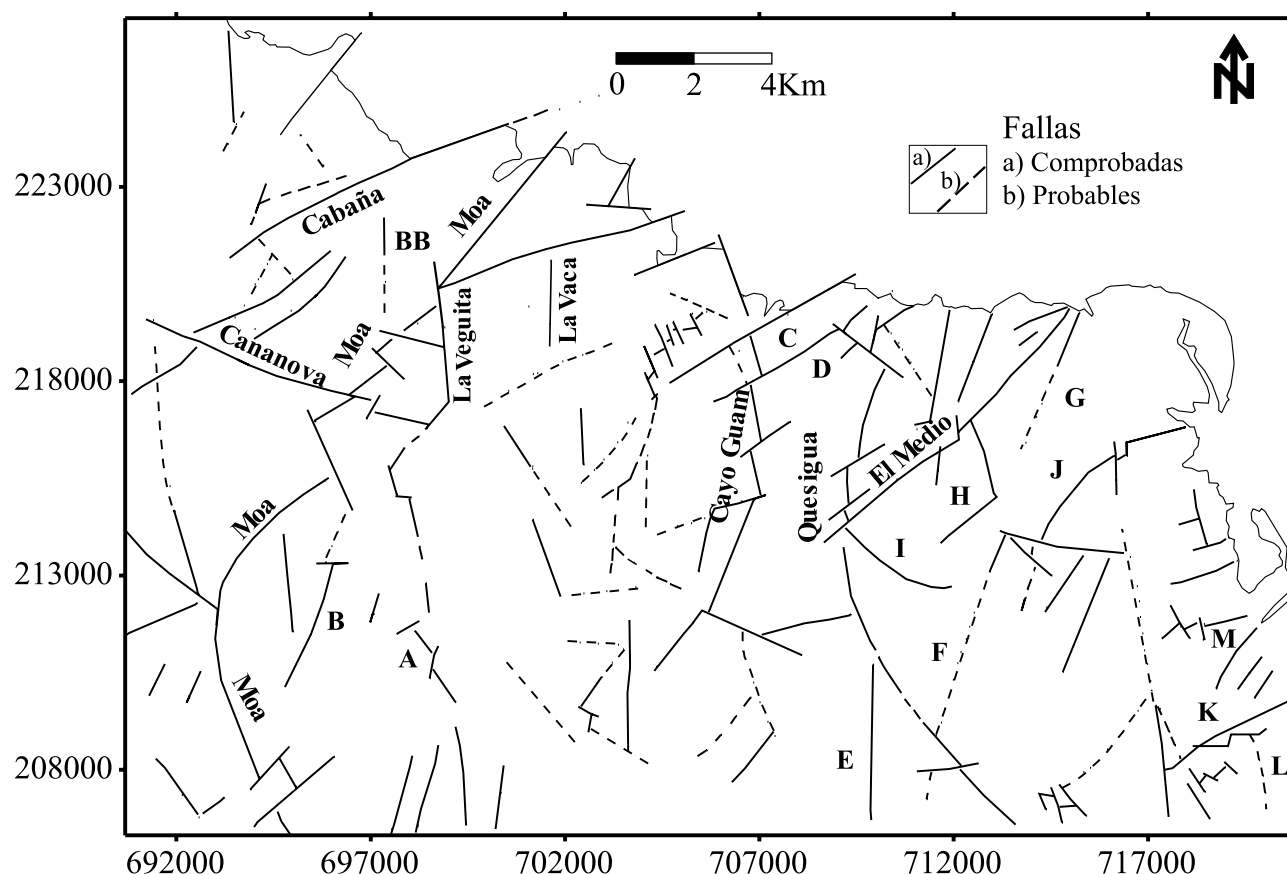


Figura 2. Mapa morfotectónico del macizo ofiolítico de Moa (modificado de Rodríguez-Infante, 1998a). Ver explicación adicional en el texto.

Figure 2. Morphotectonic map of Moa ophiolitic massif (adapted of Rodríguez-Infante, 1998a). See further explanation in the text.

las cuencas transportadas del Campaniense tardío al Daniense (Quintas, 1989). Esta formación es una unidad olistostrómica y está compuesta por fragmentos y bloques procedentes de las unidades ofiolíticas y volcánicas cretácicas.

Hacia el norte de la región, hacia la costa, afloran materiales terrígenos-carbonatados más jóvenes (post-Eoceno Medio) (Fig. 1).

En la región se han establecido cuatro sistemas de fallas principales (Rodríguez-Infante, 1998a, 1998b). El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie se encuentra espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo ofiolítico. Este sistema aparece frecuentemente cortado por sistemas más jóvenes, así como enmascarado por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico.

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: NE y NNW, constituyendo las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región. Estas estructuras afectan indistintamente a todas las litologías presentes y son, a su vez, los límites principales de los bloques morfotectónicos. Las principales estructuras de este sistema son las fallas Cabaña, Moa, Cayo Guam y Quesigua (Fig. 2).

El tercer sistema está constituido por fallas de tipo *strike slip* denominadas Cananova y El Medio (Rodríguez-Infante, 1998a, 1998b), las cuales por su orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las otras fallas descritas en la región.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en la región corresponde a estructuras de orientación norte – sur, que se distribuyen en toda el área, pero tie-

nen su mayor expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento tectónico (ej., fallas La Vegueta y La Vaca, Fig. 2).

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA

Mapa de ΔT reducido al polo

En la región de estudio el campo magnético tiene una inclinación aproximada de 51.75° , lo que provoca cierta deformación de las anomalías magnéticas, las cuales fueron corregidas realizando la reducción al polo en el dominio de la frecuencia utilizando el software Geosoft (Geosoft Inc, 1992). Durante la definición de los parámetros del filtro de reducción al polo se asumió que el vector de magnetización de los objetos geológicos que producen las anomalías es paralelo al campo geomagnético actual de la tierra. Se trabajó con una inclinación de 51.75° y una declinación de 5.25° calculada para el año 1985 por la Academia de Ciencias de Cuba (ACC).

La mayoría de las estructuras disyuntivas presentes en la región se reflejan en el comportamiento del campo magnético reducido al polo, a través de alineaciones de anomalías negativas, positivas, y zonas de altos gradientes alineados en las partes positivas de las anomalías (Figs. 2 y 3) (Batista, 1998; Chernicoff y Paterlini, 1998; Gunn et al., 1998; Batista y Rodríguez, 2000; Zaigham y Mallick, 2000). Las anomalías positivas alineadas indican un aumento del grado de serpentinización a lo largo de la estructura que ellas denotan. En cambio, las anomalías negativas evidencian una disminución de la magnetización a través de las zonas de fallas, la cual puede estar relacionada con procesos hidrotermales que favorecen la transformación de parte de la magnetita formada durante la serpentinización de las rocas ultrabásicas (Alva-Valdivia y Urrutia-Fucugauchi, 1998; Batista, 1998; Chernicoff y Paterlini, 1998; Sánchez y Oviedo, 2000).

En el mapa morfotectónico existen fallas que no se reflejan en el comportamiento del campo magnético (Figs. 2 y 3), lo que puede estar dado porque a través de las mismas no se hayan generado procesos que alteren la magnetización de las rocas y/o porque las características del levantamiento aeromagnético (precisión, escala y altura de vuelo) no lo permiten.

Por otra parte, existen alineaciones en el campo magnético que no están relacionadas con los sistemas de fallas establecidos (Rodríguez-Infante, 1998a, 1998b). Estas alineaciones pueden representar contactos litológicos

o estructuras sin expresión superficial (topográfica y geomorfológica), no detectadas por los métodos convencionales de levantamiento geológico.

En el sector II, el límite entre la parte occidental (valores negativos) y central (valores positivos) posee forma alineada, con cambios bruscos en su dirección y altos gradientes que indican su carácter tectónico. Su parte septentrional prácticamente coincide con la falla C, mientras que su extremo meridional se refleja en la zona de falla Cayo Guam (Figs. 2 y 3). Sin embargo, la parte central de este límite, la cual posee una dirección aproximada norte-sur, no está asociada a ninguna de las zonas de fallas descritas. El hecho de considerar que en la parte central del sector II deben prevalecer en la profundidad los cuerpos de gabros (Batista, 1998; Batista y Rodríguez-Infante, 2000) confirma el carácter tectónico de esta zona de contacto. Este mismo fenómeno se observa en el límite entre la parte oriental y occidental del sector III (Fig. 3).

También, en la parte oriental del sector II se observa un fuerte cambio en el carácter del campo magnético a partir de una zona alineada de dirección NE-SW (Fig. 3). Esta zona alineada sugiere la existencia de una estructura tectónica disyuntiva en esa dirección, a lo largo de la cual ocurrió un aumento considerable de la serpentinización, cuyo proceso no se manifestó continuamente sino que afectó con diferente intensidad determinados bloques de rocas ultrabásicas, tal y como lo señalan las anomalías observadas. Esta zona parece estar relacionada con la falla Quesigua (Figs. 2 y 3). Además de la zona mencionada, existen otras en el mapa con esta misma dirección, como es el caso de las que se encuentran en el extremo noroccidental, oriental y occidental del sector I, IV y V respectivamente (Fig. 3).

En los mapas de relieves sombreados de ΔT reducido al polo se resaltan varias alineaciones relacionadas con las principales zonas de fallas de la región: Moa, Cabaña, Cayo Guam, BB, F y K (Figs. 2, 4a y 4b), así como otras estructuras más pequeñas. Algunas de estas estructuras han sido descritas como supuestas (fallas F y BB, ver Fig. 2), lo cual aporta un elemento a considerar en la valoración de su carácter supuesto o probado. En estos mapas también se muestran zonas alineadas que no coinciden con ninguna de las zonas de fallas descritas en el mapa morfotectónico y geológico, sugiriendo la posible presencia de contactos tectónicos o litológicos no establecidos hasta el momento. Por ese motivo, se recomienda tenerlas presente durante las investigaciones geológicas que se realicen en el futuro en la región.

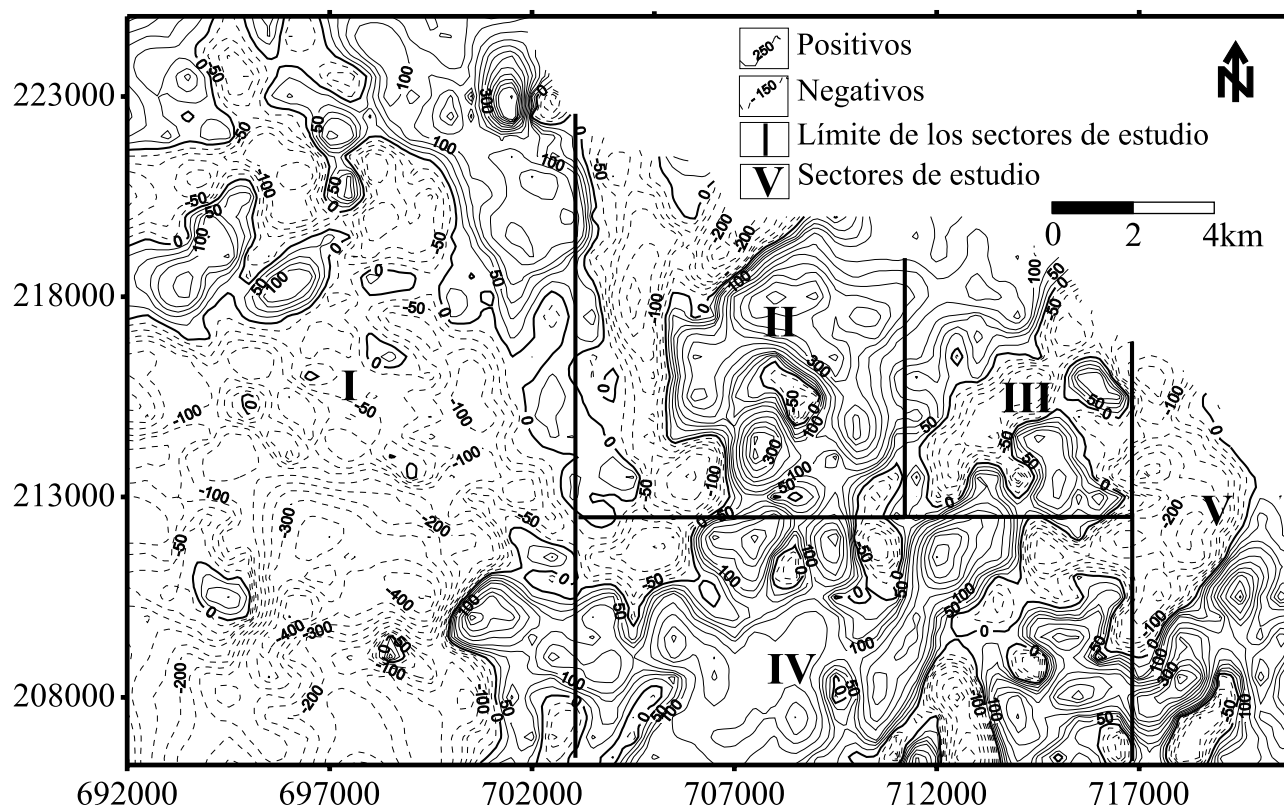


Figura 3. Mapa de ΔT reducido al polo del macizo ofiolítico de Moa.

Figure 3. Mapa of ΔT reduced to the pole of the Moa ophiolitic massif.

Mapas de gradientes de ΔT reducido al polo

En los mapas de relieves sombreados de ΔT_x (Fig. 5a y b) y ΔT_y (Fig. 6) se muestran varias zonas alineadas de altos gradientes, relacionadas con los principales sistemas de fallas de la región. En los mismos se evidencia mayor complejidad geológica hacia el extremo oriental, manifestado a través de la gran inclinación de los contactos entre los cuerpos magnéticos generadores de las anomalías.

En los mapas de gradientes se destaca que el sector I posee la menor cantidad de zonas de altos gradientes, que se distribuyen fundamentalmente en los extremos norte y sur. Sin embargo, en el sector II las zonas de altos gradientes se observan principalmente en el contacto entre la parte occidental negativa y la oriental positiva, orientadas en dirección noroeste y norte-sur, coincidiendo con el sistema de fallas más joven desarrollado en la región (Rodríguez-Infante, 1998a, 1998b). En las otras áreas del mapa magnético estas zonas están ampliamente distribuidas con dirección noroeste y noreste (Figs. 5 y 6).

En estos mapas también existen alineaciones que no están relacionadas con las estructuras disyuntivas establecidas, aportando nuevos elementos a considerar en futuras investigaciones tectónicas en la región.

Continuación Analítica Ascendente (CAA) del campo total aeromagnético

La CAA se utiliza para resaltar las anomalías producidas por los objetos geológicos más profundos y obtener mapas residuales que destaquen el efecto de objetos magnéticos pequeños cercanos a la superficie (Chang et al., 1990, 1991; Pearson, 1996; Batista, 1998; Gunn et al., 1998; Hassan et al., 1998; Zaigham y Mallick, 2000).

Inicialmente se realizó la CAA preliminar a varios niveles (250, 500, 750, 1000, 1250 y 1500 m), teniendo en cuenta las características geológicas y los resultados de los trabajos geofísicos en la región (Fonseca et al., 1985; Quintas, 1989; Chang et al., 1991; Batista, 1998). De

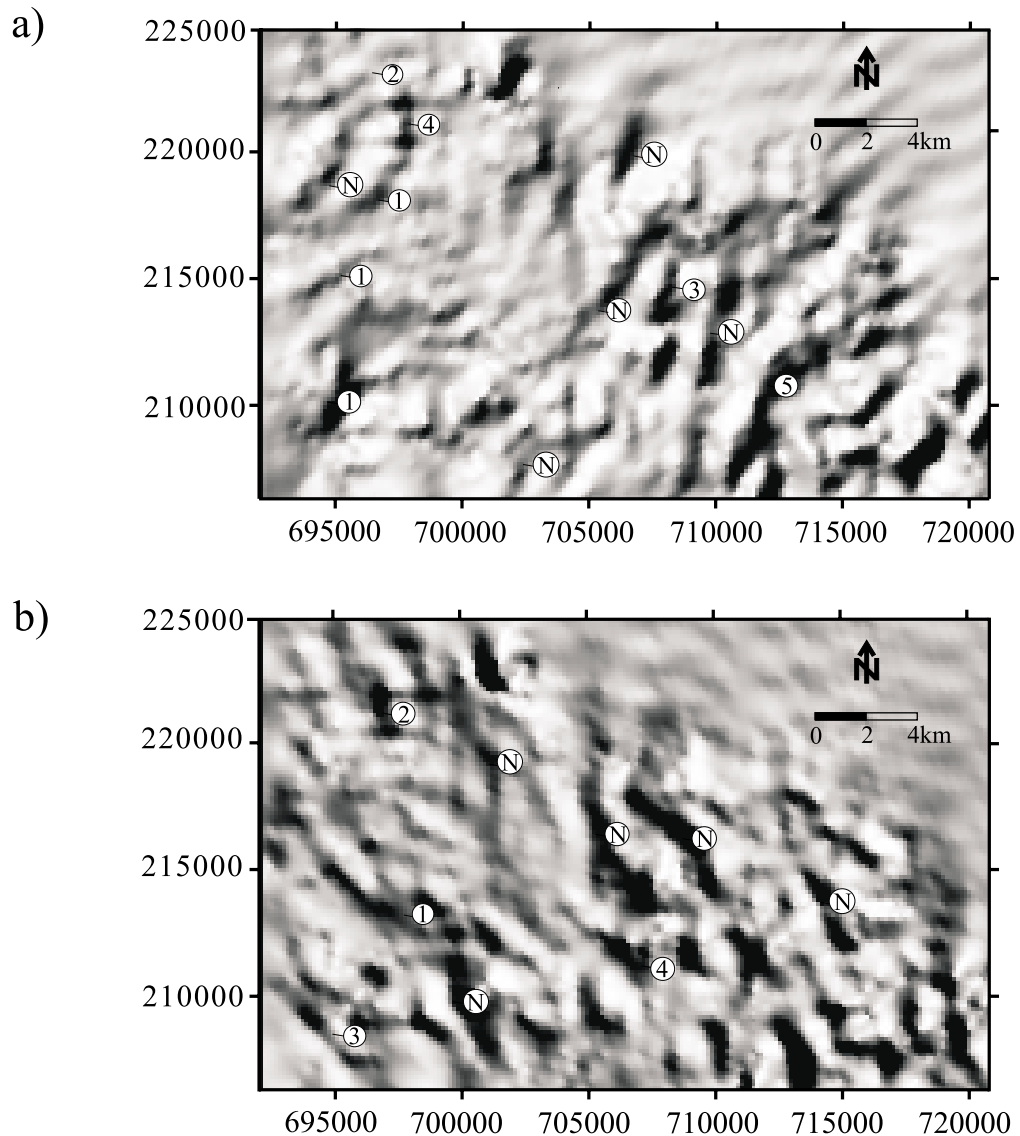


Figura 4. a) Mapa de relieve sombreado de ΔT del macizo ofiolítico de Moa, iluminado desde el noroeste con inclinación de 45°. Zonas de fallas: 1- Moa, 2- Cabaña, 3- Cayo Guam, 4- BB, 5- F. N- Alineaciones magnéticas no coincidentes con las estructuras tectónicas señaladas en el mapa morfotectónico. b) Mapa de relieve sombreado de ΔT del macizo ofiolítico de Moa, iluminado desde el noreste con inclinación de 45°. Zonas de fallas: 1- A, 2- BB, 3- Extremo meridional de Moa, 4- Extremo meridional de Cayo Guam. N- Alineaciones magnéticas que no coinciden con las estructuras señaladas en el mapa morfotectónico.

Figure 4. a). Shaded relief map of ΔT of the Moa ophiolitic massif, illuminated since the northwest with inclination of 45°. Zone of faults: 1- Moa, 2- Cabaña, 3- Cayo Guam, 4- BB, 5- F. N- Magnetic alignments not coincident with the tectonic structures indicated in the morphotectonic map. b) Shaded relief map of ΔT of Moa ophiolitic massif, illuminated since the northeast with inclination of 45°. Faults zone: 1- A, 2- BB, 3- Southernmost part of Moa, 4- Southernmost part of Cayo Guam. N- Magnetic alignments not coincident with the tectonic structures indicated in the morphotectonic map.

acuerdo con estos trabajos, en la región existe un predominio de rocas ofiolíticas (principalmente peridotitas serpentinizadas), las cuales se extienden hasta profundi-

dades que oscilan entre 1 y 1.5 km, y son las responsables en mayor grado del comportamiento del campo magnético (Tabla 1).

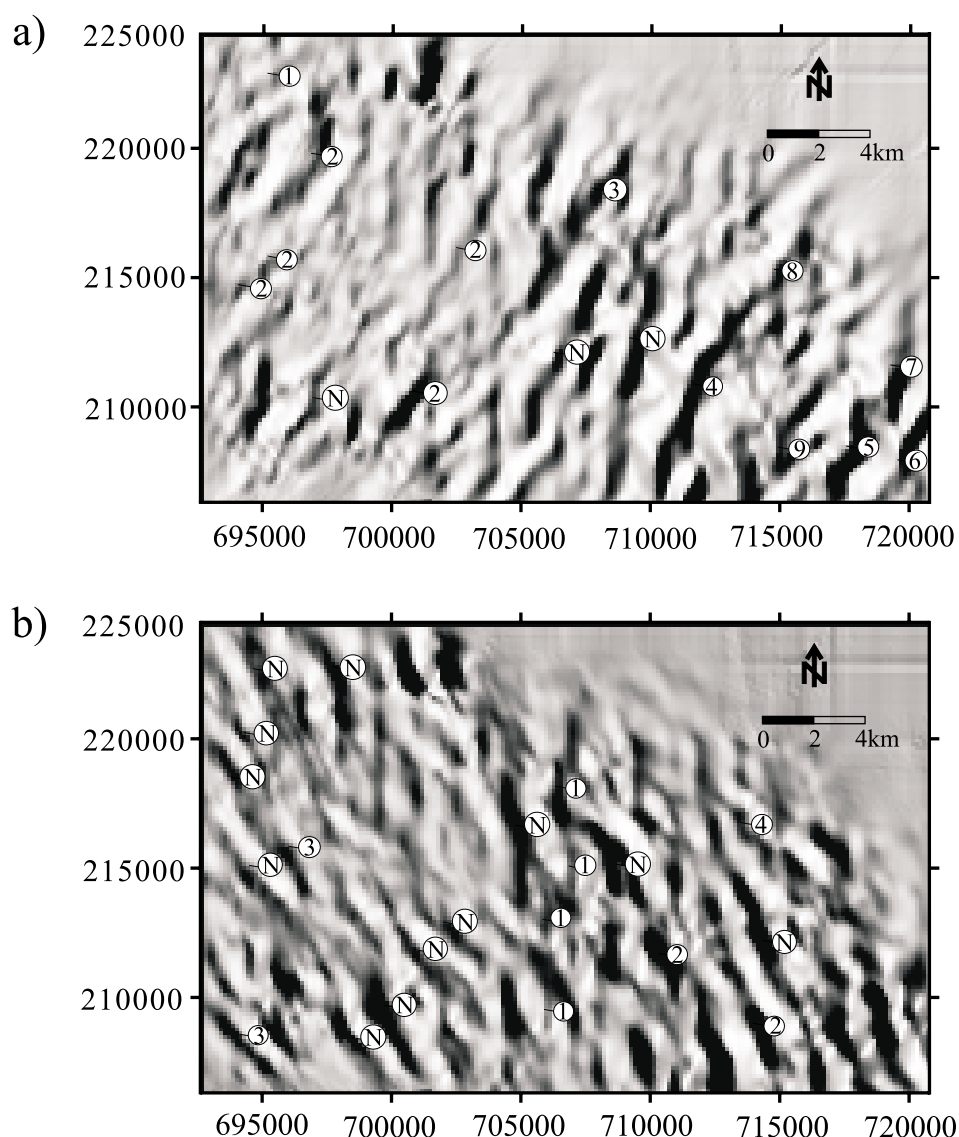


Figura 5. a) Mapa de relieve sombreado de ΔT_x del macizo ofiolítico de Moa, iluminado desde el noroeste con una inclinación de 45°. Zonas de fallas: 1- Cabaña, 2- Moa, 3- C, 4- F, 5- K, 6- L, 7- M, 8- Cupey, 9- Jiguaní. N- Alineaciones magnéticas que no coinciden con las estructuras señaladas en el mapa morfotectónico. b) Mapa de relieve sombreado de ΔT_x del macizo ofiolítico de Moa, iluminado desde el noreste con inclinación de 45°. Zonas de fallas: 1- Cayo Guam, 2- Quesigua, 3- Moa. N- Alineaciones magnéticas que no coinciden con las estructuras señaladas en el mapa morfotectónico.

Figure 5. a) Shaded relief map of ΔT_x of Moa ophiolitic massif, illuminated since the northwest with inclination of 45°. Zone of faults: 1- Cabaña, 2- Moa, 3- C, 4- F, 5- K, 6- L, 7- M, 8- Cupey, 9- Jiguaní. N- Magnetic alignments not coincident with the tectonic structures indicated in the morphotectonic map. b) Shaded relief map of ΔT_x of Moa ophiolitic massif, illuminated since the northeast with inclination of 45°. Fault zones: 1- Cayo Guam, 2- Quesigua, 3- Moa. N- Magnetic alignments not coincident with the tectonic structures indicated in the morphotectonic map.

A partir de este análisis preliminar se comprobó que a partir de los 500 m prácticamente todas las anomalías del campo desaparecen, denotando el carácter relativamente

somero de los cuerpos responsables del cuadro anómalo presente en la región. Por esta razón, finalmente se escogieron dos niveles para llevar a cabo la CAA: 250 y 500 m.

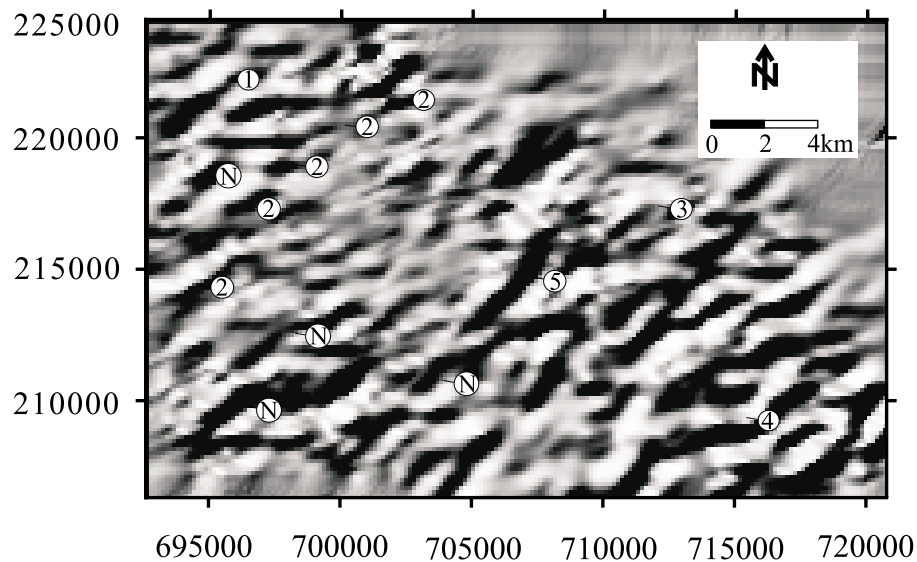


Figura 6. Mapa de relieve sombreado de ΔT_y del macizo ofiolítico de Moa, iluminado desde el noroeste con una inclinación de 45° . Los números indican las zonas de fallas: 1- Cabaña, 2- Moa, 3- El medio, 4- Jiguaní, 5- Cayo Guam, N- Alineaciones magnéticas que no coinciden con ninguna de las estructuras señaladas en el mapa morfotectónico.

Figure 6. Shaded relief map of ΔT_y of Moa ophiolitic massif, illuminated since the northwest with inclination of 45° . Fault zones: 1- Cabaña, 2- Moa, 3- El medio, 4- Jiguaní, 5- Cayo Guam. N- Magnetic alignments not coincident with the tectonic structures indicated in the morphotectonic map.

En el mapa de CAA al nivel de 250 m (Fig. 7a) no se observan algunas de las anomalías presentes en el mapa de ΔT , indicando yacencias relativamente someras para los cuerpos que la producen.

Por otra parte, en el mapa de CAA obtenido al nivel de 500 m (Fig. 7b) continúa manifestándose con mayor intensidad la anomalía negativa de la parte sur

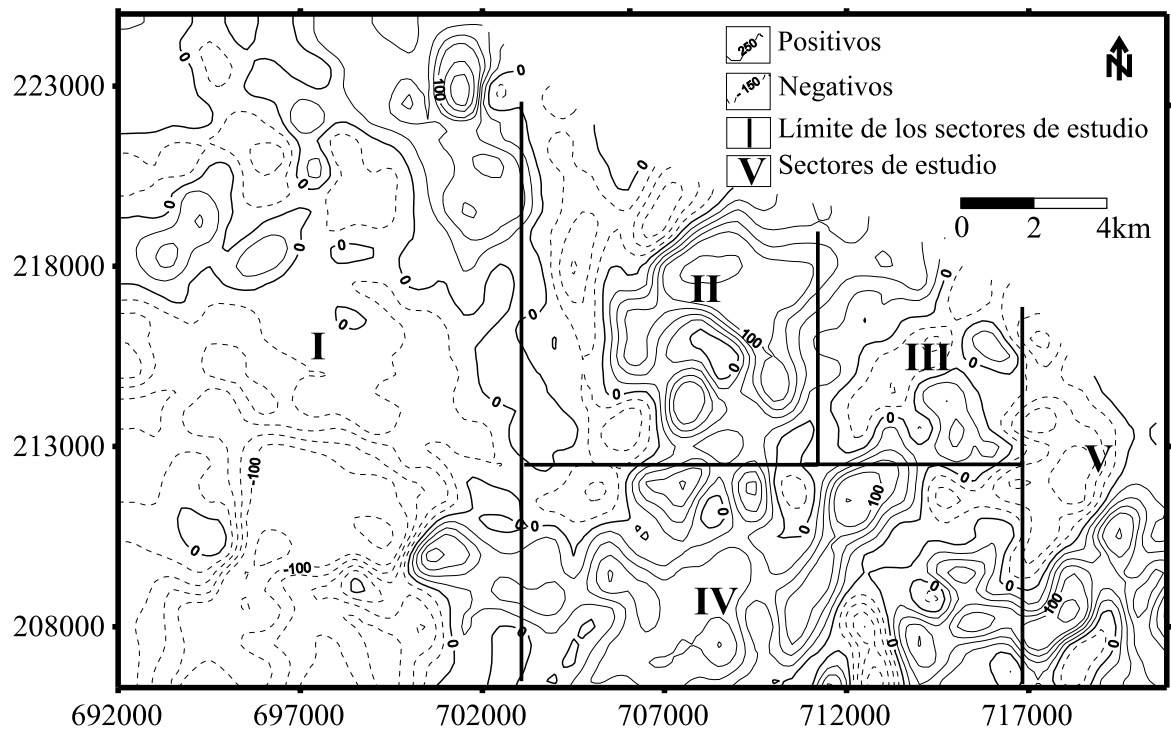
del sector I. También existen otras anomalías de signo negativo ubicadas en el noroeste, noreste y noroeste del sector II, IV y V respectivamente, que abarcan un área más pequeña e intensidad algo superior a los -25 nT. Además, se observan otras anomalías positivas ubicadas al noreste del sector I, al norte del sector II, parte norte y sureste del sector IV, así como en el este del V.

Tabla 1. Susceptibilidad magnética ($K \times 10^{-6}/4\pi$ SI) de las rocas del macizo ofiolítico de Moa-Baracoa (modificada de Zamashikov y Tabachkov, 1971; Chang et al., 1991).

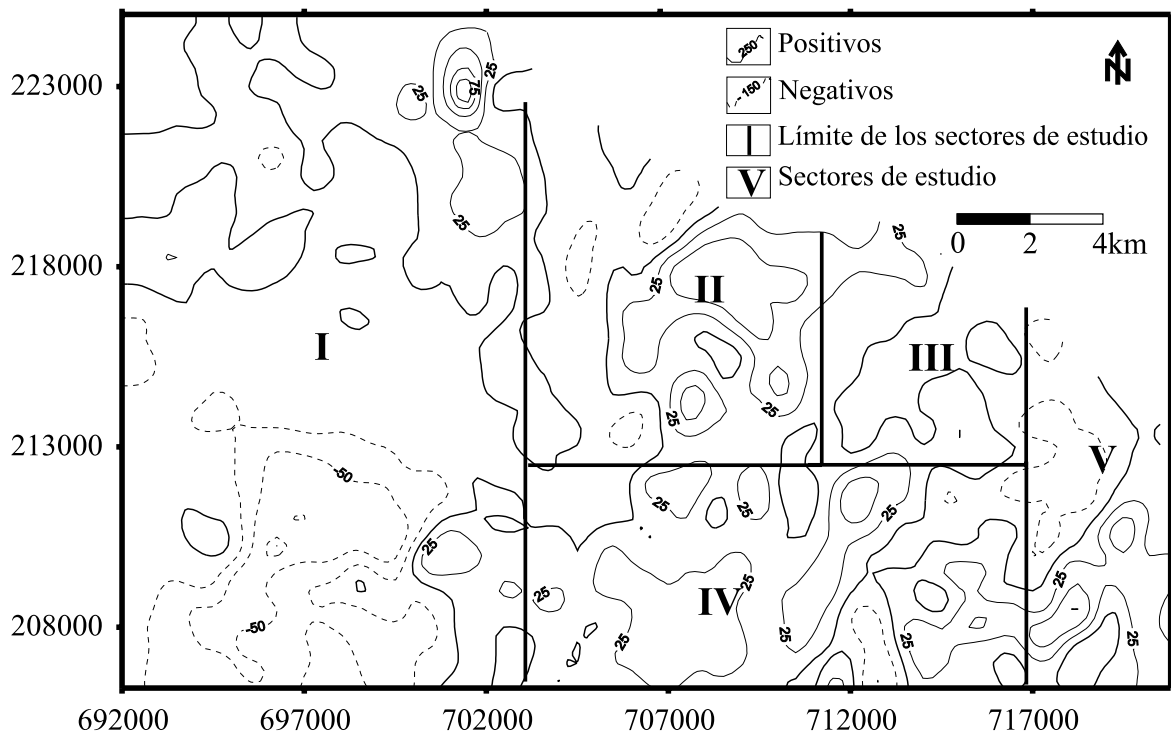
Table 1. Magnetic susceptibility ($K \times 10^{-6}/4\pi$ SI) of Moa-Baracoa ophiolitic massif rocks (modified of Zamashikov and Tabachkov, 1971; Chang et al., 1991).

| Litologías | Número de muestras | Media | Máxima |
|------------------------------|--------------------|-----------|-----------|
| Dunitas | 71 | 1000 | 3200 |
| Dunitas serpentinizadas | 131 | 1000-2500 | 7200 |
| Harzburgitas | 50 | 1000 | 3900 |
| Harzburgitas serpentinizadas | 110 | 1000 | 3000-9150 |
| Serpentininitas bandeadas | 50 | 1500-2500 | 7000 |
| Serpentininitas alteradas | 25 | 1000 | 2130 |
| Gabros | 30 | 50-200 | 900 |

a)



b)



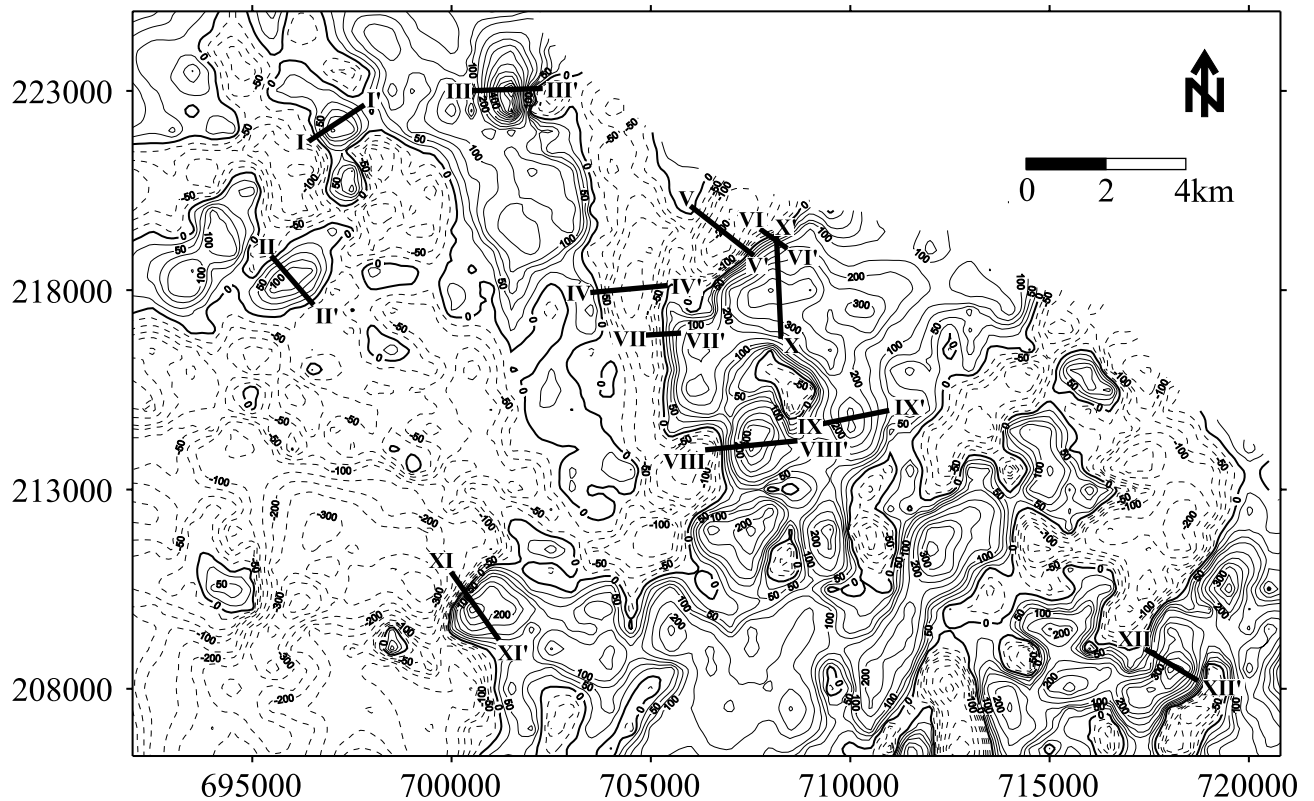


Figura 8. Mapa residual de ΔT (500 m) del macizo ofiolítico de Moa. En él se han trazado los perfiles de interpretación.

Figure 8. Residual map of ΔT (500 m) of Moa ophiolitic massif. Interpretation profiles are shown.

La anomalía positiva del noreste del sector I del mapa de ΔT ha sido interpretada, en trabajos anteriores, como un producto de la actividad antropogénica (Chang et al., 1991; Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000).

La parte suroccidental del mapa presenta las mayores intensidades del campo magnético negativo (hasta -90 nT), indicando la presencia de fuentes poco magnéticas a profundidades mayores que en el resto del área. Las anomalías positivas con intensidades de hasta 60 nT indican la posición de los objetos magnéticos más profundos del área. En estas zonas mencionadas el campo magnético disminuye más lento que en el resto del área, típico de cuerpos magnéticos extensos y profundos.

Estas características del campo magnético indican que gran parte de los cuerpos geológicos generadores del cuadro anómalo observado yacen a profundidades relativamente someras, lo que trae consigo que sus efectos no se reflejen en este último mapa.

Interpretación cuantitativa preliminar

Con la componente regional calculada al nivel de 500 m (asumida como regional) se calculó el residual del campo magnético (Fig. 8), en el cual se trazaron doce perfiles de interpretación a través de las principales anomalías, con el objetivo de establecer las formas, yacencias, dimensiones, profundidades y posiciones de los contactos de los

Figura 7. a) Mapa de Continuación Analítica Ascendente de ΔT a 250 m del macizo ofiolítico de Moa. b) Mapa de Continuación Analítica Ascendente de ΔT a 500 m del macizo ofiolítico de Moa.

Figure 7. a) Upward continuation map of ΔT to 250 m of Moa ophiolitic massif. B) Upward continuation map of ΔT to 500 m of Moa ophiolitic massif.

cuerpos geológicos que la producen (Naudy, 1971; Wang y Hansen, 1990; Yaoguo y Oldenburg, 1996; Kara, 1997; Batista, 1998; Ulrych et al., 2001). Se consideró que los cuerpos están magnetizados según la dirección del campo magnético actual, es decir, se trabajó con la magnetización inducida. Como se trata del mapa reducido al polo, se emplearon los siguientes parámetros del campo magnético: Inclinación (I) = 90° , Declinación (D) = 5.25° y T_0 = 43 500 nT, calculados en el año 1985 por la ACC. La unidad de longitud utilizada es el metro, la susceptibilidad magnética (K) se trabajó en el SI y ΔT en nT.

Teniendo en cuenta las litologías presentes en el área investigada (Fig. 1) y los valores de susceptibilidad magnética que éstas presentan (Tabla 1), se elaboraron diferentes modelos, cuyas curvas teóricas se compararon con las reales durante el modelaje. Se consideró que existía buen ajuste entre ellas cuando su diferencia no sobrepasaba tres veces el error del levantamiento aeromagnético (± 10 nT). En esas condiciones se asumió como los parámetros del cuerpo real los del modelo.

Litologías de los modelos elaborados preliminarmente

Para anomalías positivas de altas intensidades se consideró como cuerpos magnéticos anómalos las serpentinitas bandeadas y las harzburgitas y dunitas serpentinizadas, teniendo en cuenta los máximos valores de K que pueden alcanzar (Tabla 1). Se consideraron como rocas encajantes a las serpentinitas alteradas.

Para anomalías positivas de intensidad media a baja se consideró como posibles cuerpos magnéticos anómalos las serpentinitas bandeadas y las dunitas serpentinizadas, y como rocas encajantes a las serpentinitas alteradas.

Para el caso de las anomalías negativas se consideró que las mismas se deben a la presencia de cuerpos de gabros en contacto con cualquier variedad de serpentinitas mencionadas.

Resultados de la interpretación de los perfiles

Perfil I - I'

Los modelos elaborados durante la interpretación de este perfil destacan que el cuerpo causante de la anomalía tiene forma de cuña, ligeramente inclinado hacia el noreste, el cual puede estar constituido por serpentinitas bandeadas en contacto con serpentinitas alteradas, con profundidades que oscilan entre 0 y 150 m y espesores que pueden superar los 110 m (Fig. 9a).

Perfil II - II'

El cuerpo que causa la anomalía presente en este perfil posee una yacencia próxima a la vertical, con profundidades que oscilan entre 22 y 304 m y un espesor máximo de 282 m (Fig. 9b).

Perfil III - III'

El cuerpo constituye una capa ligeramente inclinada hacia el oeste, con una profundidad que oscila entre 11 y 990 m con su parte superior inclinada hacia el oeste. Además, posee un espesor que puede alcanzar 979 m en la cercanía de su extremo oriental. Durante el modelaje se comprobó que el tope inferior del cuerpo puede estar a una profundidad un poco mayor que la señalada (Fig. 9c). La anomalía observada en este perfil debe estar causada por dunitas y harzburgitas serpentinizadas, o serpentinitas bandeadas en contacto con serpentinitas alteradas.

Perfil IV - IV'

Este perfil de interpretación se trazó a través de una anomalía negativa de forma 2D con dirección norte - sur, la cual posee una intensidad de hasta -230 nT y elevados gradientes en los extremos cortados por el perfil (Fig. 8), caracterizando el contacto abrupto entre el cuerpo que la produce y el medio adyacente. Se interpreta que la anomalía está producida por un cuerpo de gabros (K media = $200 \times 10^{-6}/4\pi$ SI) en contacto con dunitas serpentinizadas o serpentinitas bandeadas (K media = $2\,500 \times 10^{-6}/4\pi$ SI), provocando un contraste de K negativo que puede alcanzar valores superiores al utilizado en el modelo ($-2000 \times 10^{-6}/4\pi$ SI). El modelo elaborado posee forma de capa vertical, con una profundidad que oscila entre 1.5 y 30 m y un espesor aproximado de 29 m (Fig. 9d).

Perfil V - V'

Este perfil pasa a través de una anomalía negativa de forma 2D orientada hacia el noreste, con intensidad de -244 nT y elevados gradientes en el extremo sureste, indicadores de un contacto muy próximo a la vertical. Hacia el noroeste aquellos disminuyen, indicando menor inclinación de la zona de contacto entre el cuerpo y el medio adyacente (Fig. 8). Las litologías que conforman los modelos elaborados durante la interpretación son las mismas del perfil IV-IV' debido a que ambas anomalías presentan características similares. En este caso, se elaboraron dos modelos considerando la mayor y menor aproximación posible a la superficie del cuerpo anómalo. En los mismos se evidencian profundidades que oscilan entre 1.2 y 13.5 m (Fig. 9e).

Perfil VI - VI'

Se trazó con el objetivo de precisar la posición del

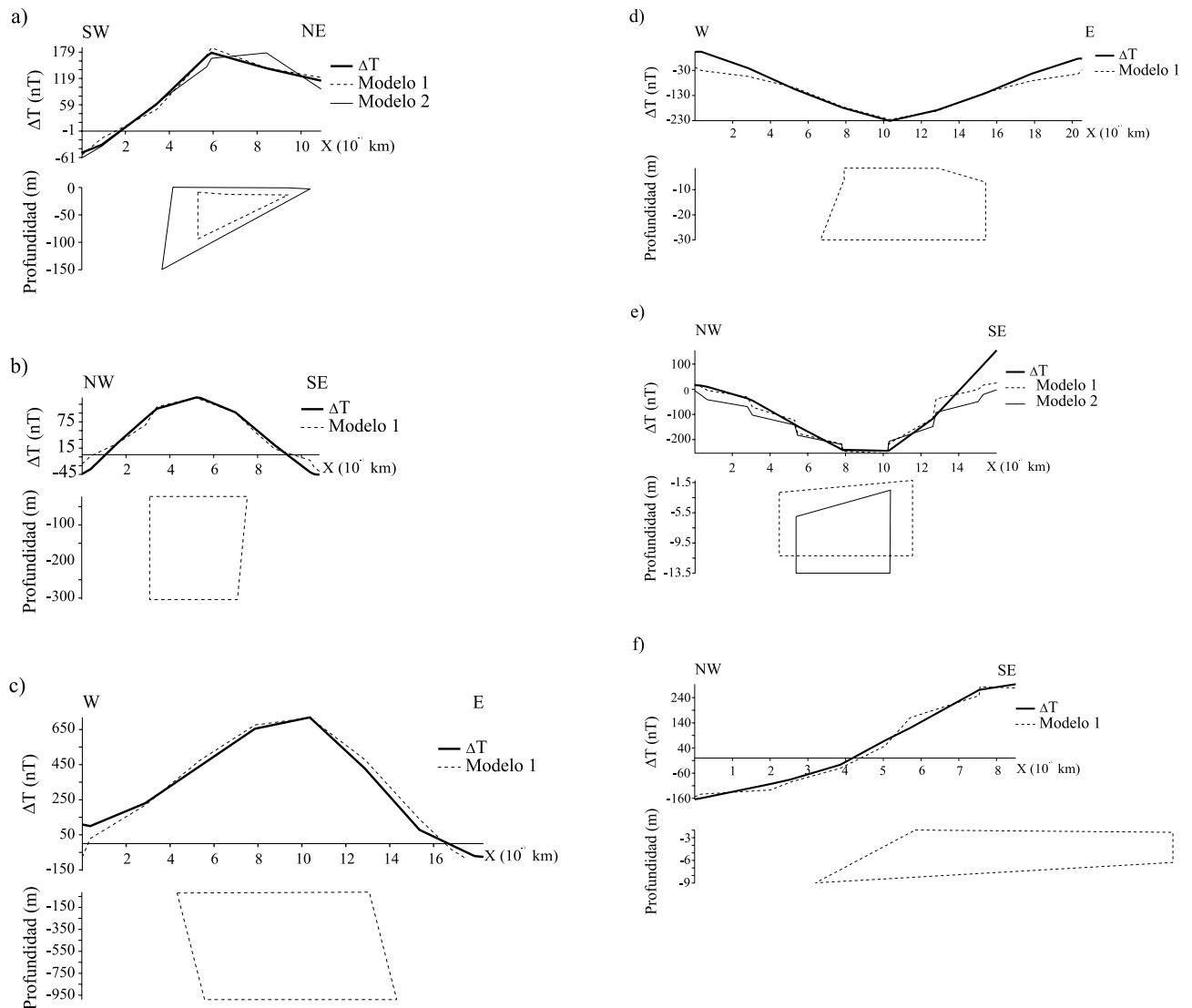


Figura 9. Perfiles de interpretación a través de las principales anomalías: a) perfil I-I', b) perfil II-II', c) perfil III-III', d) perfil IV-IV', e) perfil V-V', f) perfil VI-VI'. Véase la ubicación de los perfiles en la figura 8.

Figure 9. Interpretation profiles traced through the main anomalies: a) profile I-I', b) profile II-II', c) profile III-III', d) profile IV-IV', e) profile V-V', f) profile VI-VI'. See profiles location in figure 8.

contacto entre las rocas ultrabásicas serpentinizadas y otra litología de muy baja magnetización. El modelo elaborado indica que las primeras rocas mencionadas poseen profundidades que varían entre 2 y 9 m y un espesor que puede alcanzar hasta 7 m. (Fig. 9f).

Perfil VII - VII'

Este perfil de trazó con el mismo objetivo que el VI-VI'. El cuerpo causante de la anomalía observada posee

profundidades que varían entre 2.4 a 9.5 m y espesores que pueden alcanzar los 5 m (Fig. 10a).

Perfil VIII - VIII'

La forma de la curva a lo largo del perfil denota una ligera inclinación hacia el este del cuerpo causante de tal anomalía. El modelo obtenido durante la interpretación señala que la misma está causada por algunas de las variedades de serpentinitas señaladas anteriormente, cuyo cuer-

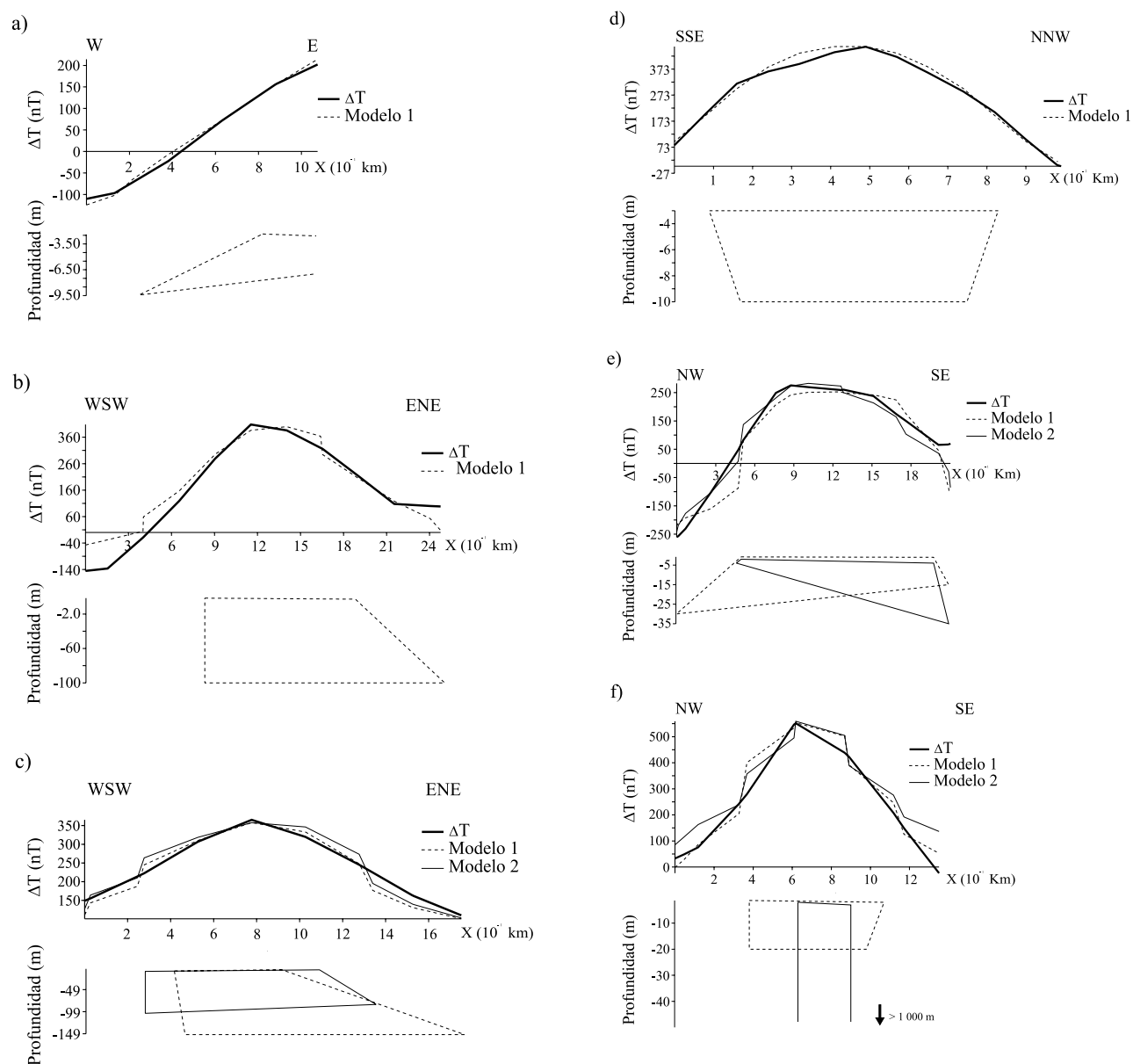


Figura 10. Perfiles de interpretación a través de las principales anomalías: a) perfil VII-VII', b) perfil VIII-VIII', c) perfil IX-IX', d) perfil X-X', e) perfil XI-XI', f) perfil XII-XII'. Véase la ubicación de los perfiles en la figura 8.

Figure 10. Interpretation profiles traced through the main anomalies: a) profile VII-VII', b) profile VIII-VIII', c) profile IX-IX', d) profile X-X', e) profile XI-XI', f) profile XII-XII'. See profiles location in figure 8.

po presenta profundidades que varían entre 1.5 a 100 m y un espesor de hasta 98.5 m en su extremo oeste (Fig. 10b).

Perfil IX - IX'

Los modelos elaborados durante la interpretación de esta anomalía indican que la misma está provocada por las litologías analizadas en los perfiles I y III, cuyo

cuerpo presenta profundidades que varían desde 1.5 a 148.5 m y un espesor que puede alcanzar 147 m (Fig. 10c).

Perfil X - X'

Según el modelo elaborado para este perfil, el cuerpo anómalo posee una profundidad que varía desde 3 a 10 m

y un espesor de 7 m alcanzado en su parte central. El mismo debe estar compuesto por litologías similares a las utilizadas en los modelos de la anomalía del perfil IX-IX' (Fig. 10d).

Perfil XI - XI'

El carácter de la curva del campo magnético a lo largo de este perfil evidencia un contacto muy abrupto o una zona de falla en el extremo noroeste. Los modelos elaborados indican profundidades entre 0.8 a 35 m y un espesor mayor de 15 m. El contraste de K de ambos modelos indica que las litologías involucradas son las mismas variedades de serpentinitas mencionadas durante el análisis de perfiles anteriores (Fig. 10e).

Perfil XII - XII'

Los modelos elaborados están constituidos por las mismas variedades de serpentinitas utilizadas en modelos anteriores (serpentinitas bandeadas, dunitas y harzburgitas serpentinizadas). El cuerpo anómalo presenta forma de capa vertical con su tope superior inclinado hacia el noroeste, con profundidades que varían entre 1.3 y 3 m y una profundidad de hasta 1000 m para su tope inferior (Fig. 10f).

CONCLUSIONES

Del análisis de los mapas de ΔT , ΔT_x , ΔT_y y los de relieves sombreados se concluye que los principales sistemas de fallas presentes en la región de estudio se reflejan en el comportamiento del campo magnético, sobre todo a partir de zonas alineadas en los mapas de relieves sombreados, lo que valida la capacidad de esta técnica para resaltar estructuras disyuntivas y demuestra su importancia en la caracterización geológica, en particular tectónica regional. La confirmación de estas estructuras por los datos magnéticos permite en ocasiones valorar el carácter supuesto o probado de las mismas, así como el aumento del grado de serpentización a lo largo de las zonas que ellas afectan. También en varios mapas de relieve se repiten alineaciones con dirección noroeste y noreste que no coinciden con las estructuras trazadas en el mapa geológico y en el morfotectónico, destacando la presencia de zonas que pueden constituir contactos tectónicos o litológicos no establecidos en trabajos anteriores.

Según la interpretación de los mapas de CAA los cuerpos magnéticos yacen a poca profundidad debido a la desaparición de la mayoría de las anomalías una vez recalculado el campo a una altura de 500 m. Las mayores profundidades de las rocas de baja magnetización se alcanzan en el extremo suroccidental del sector I, mien-

tras que las rocas altamente magnéticas la alcanzan en los extremos noreste de los sectores I, II y IV y al occidente del V.

Según la modelización interactiva, las litologías tomadas inicialmente como cuerpo anómalo y roca encajante son representativas de las fuentes que provocan las anomalías encontradas a lo largo de cada perfil. Los cuerpos generadores de las diferentes anomalías interpretadas yacen a poca profundidad, oscilando entre 0 y 400 m, con la excepción de algunos que pueden alcanzar más de 1000 m de profundidad en su límite inferior (perfil III-III' y XII-XII'). Los cuerpos presentan forma de cuña y de capa vertical o ligeramente inclinada en algunos de sus extremos.

El análisis de los mapas de CAA y los resultados de la modelización corroboran el carácter alóctono del complejo ofiolítico en esta región y la poca profundidad de las fuentes generadoras de las anomalías principales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los doctores J. Rodríguez-Pérez, R. González-Caraballo, A. Rodríguez-Vega, R. Díaz-Martínez y a la MSc. Beatriz Riverón, por todo el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo. Asimismo, queremos expresar nuestros agradecimientos al Departamento de Geofísica del Instituto de Geología y Paleontología de Cuba por facilitarnos los datos del levantamiento aerogeofísico complejo. Este trabajo ha sido mejorado gracias a los comentarios y sugerencias de los doctores A. Casas y A. Marcuello (Universitat de Barcelona), así como de un revisor anónimo. Este trabajo es una contribución al proyecto BTE2001-3308 y al Programa de Cooperación Científica con Iberoamérica (2000) de la AECI.

BIBLIOGRAFÍA

- Albear, J., Boyanov, I., Brezsnianszky, K., Cabrera, R., Chejovich, V., Echevarría, B., Flores, R., Formell, F., Franco, G., Haydutow, I., Iturralde-Vinent, M., Kantchev, I., Kartashov, I., Kostadinov, V., Millán, G., Myczynski, R., Nagy, E., Oro, J., Peñalver, L., Piotrowska, K., Pszczolkowski, A., Radocz, J., Somin, M.L., 1988. Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
- Alva-Valdivia, L.M., Urrutia-Fucugauchi, J., 1998. Rock magnetic properties and ore microscopy of the iron ore deposit of Las Truchas, Michoacan, Mexico. *Journal of Applied Geophysics*, 38(4), 277-299.
- Batista, J., 1998. Caracterización geológica y estructural de la

- región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. Tesis de maestría. ISMM de Moa. 80 pp.
- Batista, J., 2000. Metodología para la recuperación de la matriz digital de las observaciones de un levantamiento geofísico. *Minería y Geología*, 17(2), 23-26.
- Batista, J., Rodríguez-Infante, A., 2000. Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000. *Minería y Geología*, 17(1), 17-25.
- Chang, J.L., Corbea, L., Prieto, F., Hernández, J., Brito, G., 1991. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín (Sector Guantánamo sur). O.N.R.M., 260 pp.
- Chang, J.L., Gribniou, G., Brodobo, A., 1990. Informe sobre resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Granma y Guantánamo (Sector Pinares de Mayarí). O.N.R.M., 314 pp.
- Chernicoff, C.J., Paterlini, C.M., 1998. Interpretación geológica de la anomalía magnética del Departamento Mártires, provincia del Chubut (Argentina). In: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 31-42.
- Cooper, G.R.J., 1991. Geomode. Software de modelación 2.5 D.
- Fonseca, E., Zelepugin, V.N., Heredia, M., 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19, 321-329.
- Gunn, P.J., Mackey, T., Meixner, T.J., 1998. Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji. In: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 43-51.
- Gyarmati, P., Leyé O'Connor, J., 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O.N.R.M.
- Hassan, H.H., Peirce, J.W., Pearson, W.C., Pearson, J.M., 1998. Cultural editing of HRAM data comparison of techniques. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 34(1-2), 16-22.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996a. Geología de las ofiolitas de Cuba. In: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 83-120.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996b. Introduction to Cuban Geology and tectonics. In: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 3-35.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996c. Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. In: M. Iturralde-Vinent (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 179-189.
- Kara, B., 1997. Magnetic interpretation of two-dimensional dikes using integration-nomograms. *Journal of Applied Geophysics*, 36(4), 175-180.
- Liuby, L.I., 1983. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo realizado en el territorio de las provincias de Holguín y Guantánamo. O.N.R.M.
- Naudy, H., 1971. Automatic determination of depth on aeromagnetic profiles. *Geophysics*, 36, 717-722.
- Pearson, A.W.C., 1996. Removing culture from southern Texas – a magnetic cleanup and image revolution. Expanded Abstracts with Biographies, SEG International Exposition and 66th Ann. Mtg., Denver, 1407-1410.
- Proenza, J., Carralero, N.M., 1995. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11, 3-10.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Revé, D., Rodríguez, G., 1998a. Las cromititas ofiolíticas del yacimiento Mercedita (Cuba). Un ejemplo de cromititas ricas en Al en la zona de transición manto-corteza. *Acta Geologica Hispanica*, 33(1-4), 179-212.
- Proenza, J.A., Melgarejo, J.C., Gervilla, F., Lavaut, W., Revé, D., Rodríguez, G., 1998b. Cromititas podiformes en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). *Acta Geologica Hispanica*, 33(1-4), 153-177.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L., 1999a. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94, 547-566.
- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., 1999b. La Moho Transition Zone en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(3-4), 309-327.
- Proenza, J., Melgarejo, J.C., Gervilla, F., Solé, J., 1999c. Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zonas de suprasubducción. *Minería y Geología*, 16(2), 5-12.
- Quintas, F., 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral. I.S.M.M. de Moa. 161 pp.
- Quintas, F., Proenza, J., Castillo, J.L., 1995. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. *Minería y Geología*, 12, 3-8.
- Rodríguez-Infante, A., 1998a. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis

- tectónica. Tesis doctoral. ISMM de Moa. 124 pp.
- Rodríguez-Infante, A., 1998b. Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y Geología*, 15(2), 37-41.
- Rodríguez, R.M., Blanco-Moreno, J., Proenza, J., Orozco, G. 2001. Petrología de las rocas plutónicas de afinidad ofiolítica presentes la zona de Cayo Grande (macizo ofiolítico Moa-Baracoa), Cuba oriental. *Minería y Geología*, 18, 31-44.
- Sánchez, R., Oviedo, A., 2000. Sistema epitermal Jacinto: rasgos geofísicos. In: I Congreso Cubano de Geofísica. La Habana.
- Ulrych, T.J., Sacchiz, M.D., Woodbury, A., 2001. A Bayes tour of inversion: A tutorial. *Geophysics*, 66(1), 55-69.
- Wang, X., Hansen, R.O., 1990. Inversion for anomalies of arbitrary three-dimensional bodies. *Geophysics*, 55, 1321-1326.
- Yaoguo, Li., Oldenburg, D., 1996. 3D inversion of magnetic data. *Geophysics*, 61, 394-408.
- Zaigham, N.A., Mallick, K.A., 2000. Bela ophiolite zone of southern Pakistan: Tectonic setting and associated mineral deposits. *GSA Bulletin*, 112(3), 478-489.
- Zamashikov, M.E., Tobachkov, V., 1971. Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda a escala 1:50 000 en la parte suroeste del macizo hiperbasítico Moa-Baracoa. O.N.R.M.